

**Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava**

číslo 1, rok 2009, ročník IX, řada stavební

článek č.4

**Kristýna VAVRUŠOVÁ<sup>1</sup>, Antonín LOKAJ<sup>2</sup>****POŽÁRNÍ ODOLNOST DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ****TIMBER STRUCTURES FIRE RESISTANCE****Abstrakt**

Předmětem tohoto příspěvku je nástin problematiky navrhování a posuzování dřevěných konstrukcí na účinky požáru dle normativních a alternativních (plně pravděpodobnostních) metod.

**Abstract**

Aim of this article is adumbration of fire loaded timber structures design using normative and alternative (fully probabilistic) methods.

**1 ÚVOD**

Cenová dostupnost, rychlost výstavby, příznivé fyzikálně-mechanické, ekologické a estetické vlastnosti dřeva jsou jen některé z aspektů stále častějšího užití dřeva při stavbách nových obytných domů, jak již v podobě roubenek, srubů, či staveb ze sendvičových panelů nebo při rekonstrukcích stávajících objektů a realizacích střešních nástaveb, které v současné době patří k velmi vyhledávaným formám bydlení.

Především u střešních nástaveb je nutné, vzhledem ke snadné hořlavosti dřeva, věnovat pozornost dodržení všech požárních opatření a správnému návrhu dřevěných prvků na účinky požáru.

V současné době dochází, díky rozvoji počítačové techniky, vedle standardních normativních metod, k rozvoji i jiných, alternativních metod, které jsou na počítačové technice přímo závislé. Mezi ně patří i plně pravděpodobnostní metody (např. metoda SBRA [5]).

**2 DŘEVO VYSTAVENÉ ÚČINKŮM POŽÁRU**

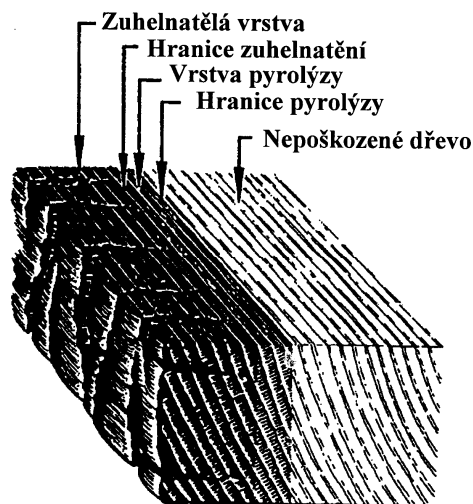
Dřevěné prvky vystavené požáru a teplotě okolo 300° C vzplanou na povrchu a zpočátku poměrně silně hoří. Postupně se vytvoří zuhelnatělá vrstva, která má přibližně 6-krát lepší tepelně-izolační vlastnosti než rostlé dřevo (obr. 1).

Tato vrstva pak chrání zbytkový průřez před účinky intenzivního ohřevu od požáru. Vnější povrch zuhelnatělé vrstvy má teplotu blízkou teplotě požáru, vnitřní povrch zuhelnatělé vrstvy má teplotu okolo 300° C. Pod zuhelnatělou vrstvou se nachází vrstva teplotně ovlivněného dřeva o tloušťce přibližně 35 mm, jejíž pevnostní a přetvárné vlastnosti jsou tepelně ovlivněny a sníženy. Část této vrstvy o teplotě nad 200° C se nazývá vrstva pyrolýzy, protože v ní dochází k intenzivnímu tepelnému rozkladu spojenému s uvolňováním plynů a vyznačujícím se změnou barvy a ztrátou

<sup>1</sup> Ing. Kristýna Vavrušová, Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 375, e-mail: [kristyna.vavrusova@vsb.cz](mailto:kristyna.vavrusova@vsb.cz).

<sup>2</sup> Doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D., Katedra konstrukcí, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební (FAST), Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 302, e-mail: [antonin.lokaj@vsb.cz](mailto:antonin.lokaj@vsb.cz).

hmotnosti. Vlhkost se intenzivně vypařuje z vrstev s teplotou přesahující 100° C. Pod vrstvou pyrolýzy se nachází tepelně prakticky neovlivněný zbytkový průřez, který se v čase s postupujícím požárem zmenšuje.



Obr.1: Dřevěný průřez vystavený účinkům požáru

Z hlediska zbytkového průřezu lze rozlišovat dřevěné prvky subtilní (zpravidla se uvažují prvky do tloušťky 80 mm), u kterých je zbytkový průřez již při krátkém účinku požárního zatížení téměř nulový a prvky masivní, u kterých je zbytkový průřez dostatečně velký, aby plnil nosnou funkci i při požadované době požární odolnosti.

### 3 POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI DLE EC5

Pro návrh a posouzení spolehlivosti dřevěné konstrukce vystavené účinkům požáru podle Eurokódů ([1] a [2]) je možno použít alternativně tři metody. Jedná se o metodu redukovaného průřezu, metodu redukovaných vlastností a obecnou metodu. Tyto metody jsou seřazeny vzestupně podle náročnosti výpočtu a následně i podle výsledné požární odolnosti konstrukce.

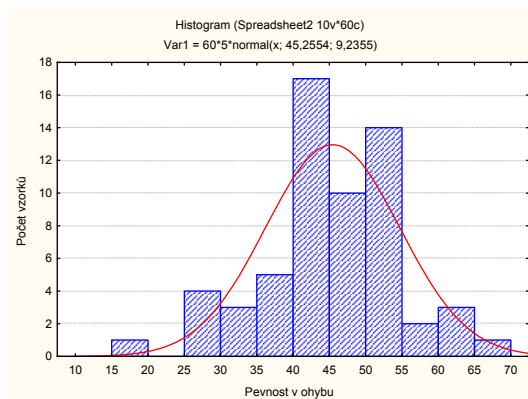
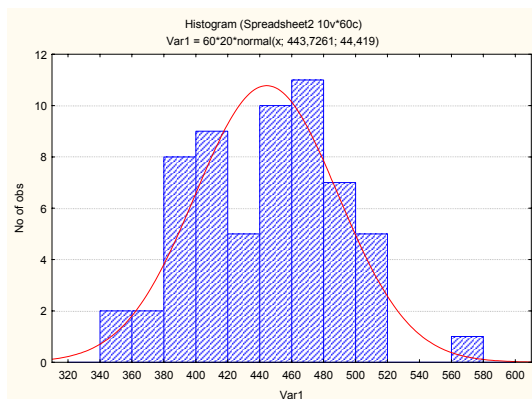
Principem všech těchto metod je výpočet hloubky zuhelnatění průřezu, případně změna fyzikálně-mechanických vlastností a posudek únosnosti zbytkového průřezu v požadovaném čase požární odolnosti.

Hloubka zuhelnatění vychází z návrhové rychlosti zuhelnatění daného materiálu a doby požární odolnosti.

Návrhová rychlost zuhelnatění (pohybuje se mezi 0,5 a 1,0 mm/min.) je závislá zejména na hustotě dřeva či materiálů na jeho bázi (zpravidla nepřímo úměrně) a je uvedena tabelárně charakteristickou hodnotou v ČSN EN 1995-1-2 ([2]).

### 4 POSUZOVÁNÍ POŽÁRNÍ ODOLNOSTI METODOU SBRA

V metodě SBRA jsou všechny náhodně proměnné reprezentovány ohraničenými histogramy, zatížení jsou vyjádřena křivkami trvání a odpovídajícími histogramy. Materiálové vlastnosti jsou, na rozdíl od EC5, vyjádřeny ohraničenými histogramy určenými na základě laboratorních testů (obr. 2 a 3) podle [3].



Obr.2 a 3: Histogram hustoty a pevnosti v ohybu jehličnatého řeziva podle [3]

Funkce spolehlivosti ( $FS$ ) je analyzována použitím simulační techniky a přímé metody Monte Carlo:

$$FS = R - S \quad (1)$$

kde  $R$  je odolnost konstrukce,  $S$  vyjadřuje účinek kombinace zatížení.

## 5 PŘÍKLAD POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI STROPNÍHO TRÁMU ZA POŽÁRU

Je potřeba ověřit 60-ti minutovou požární odolnost smrkového stropního trámu (třída pevnosti S10) obdélníkového průřezu (180/240 mm) o délce 3,5 m. Stropní trám - prostý nosník je zatížen spojitým rovnoměrným zatížením stálým ( $g_d = 3,0 \text{ kN/m}$ ) a užitným ( $p_d = 3,0 \text{ kN/m}$ ).

### 5.1 Výpočet dle EC5

Výpočet byl proveden dle [2] metodou redukovaného průřezu.

#### A) Posouzení průřezu

$$M_{fi,d} = \frac{1}{8} \cdot (g_d + p_d) \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot (3,0 + 3,0) \cdot 3,5^2 = 9,19 \text{ kNm}$$

$$\beta = 0,8 \text{ mm/min}$$

$$d_{ef} = \beta_n \cdot t + k_0 \cdot d_0$$

$$d_0 = 7 \text{ mm}$$

$$k_0 = 1,0 \text{ (podle EC 5)}$$

$$d_{ef,60} = 0,8 \cdot 60 + 1,0 \cdot 7 = 55 \text{ mm}$$

$$b_{fi,60} = b - 2 \cdot d_{ef,60} = 180 - 2 \cdot 55 = 70 \text{ mm}$$

$$h_{fi,60} = h - d_{ef,60} = 240 - 55 = 185 \text{ mm}$$

$$W_{fi} = \frac{b_{fi,60} \cdot h_{fi,60}^2}{6} = \frac{70 \cdot 185^2}{6} = 399\,292 \text{ mm}^3$$

Návrhová hodnota pevnosti v ohybu

$$f_{m,fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,0 \cdot 1,25 \cdot \frac{22}{1,0} = 27,5 \text{ N/mm}^2$$

Návrhová hodnota napětí v ohybu

$$\sigma_{m,fi,d} = \frac{M_{fi,d}}{W_{fi}} = \frac{9,19 \cdot 10^6}{399\,291} = 23,0 \text{ N/mm}^2$$

Stupeň využití

$$23,0 / 27,5 = \underline{0,84}$$

### B) Návrh průřezu

Za návrhovou veličinu je zvolena šířka trámu **b**, vypočtená na základě zpětného postupu posudku požární odolnosti trámu. Metodou redukovaného průřezu je stanovena nejmenší možná šířka smrkového trámu ( $b_{\min} = 168,6 \text{ mm}$ ).

## 5.2 Výpočet metodou SBRA

Zatížení je vyjádřeno ohraničenými histogramy: stálé (DEAD1), užitné (SHORT1). Hustota a pevnost v ohybu smrkového dřeva jsou rovněž vyjádřeny ohraničenými histogramy získanými na základě laboratorního měření.

Pravděpodobnost vzniku požáru je předpokládána jako 1/300. Pokles ohybové pevnosti dřeva trámu na základě doby trvání účinků zatížení je uvažován podle "Madisonské křivky" - viz rov. (2):

$$SL = 108,4 T^{0,04635} + 18,3 \quad (2)$$

kde  $SL \dots$  [%] je aktuální pevnost dřeva v čase  $T$  vzhledem ke krátkodobé pevnosti

$T \dots$  je doba trvání účinků zatížení [sec].

Rychlost odhořívání ( $\beta$ ) v závislosti na hustotě dřeva podle ([6]):

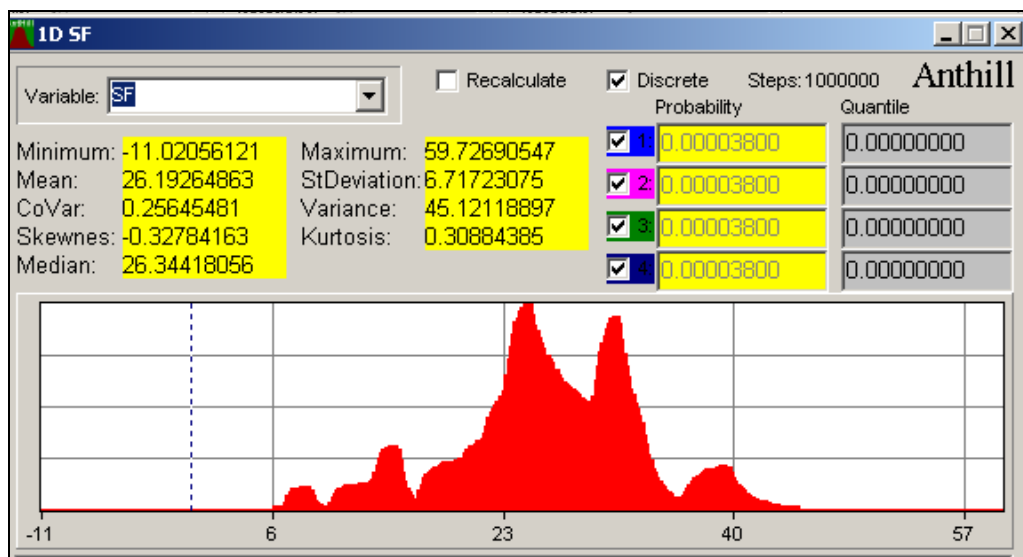
$$\beta = 0,4 + (280/\rho)^2 \quad (3)$$

kde  $\rho \dots$  je hustota dřeva [ $\text{kg/m}^3$ ].

Funkce spolehlivosti je analyzována v 1 mil. simulačních cyklů. Odolnost konstrukce ( $R$ ) je vyjádřena pevností dřeva v ohybu redukovanou v závislosti na době trvání zatížení (v rozmezí 0 až 50 let). Účinek kombinace zatížení ( $S$ ) je vyjádřen napětím v ohybu účinného průřezu namáhaného požárem ze tří stran.

### A) Posouzení průřezu

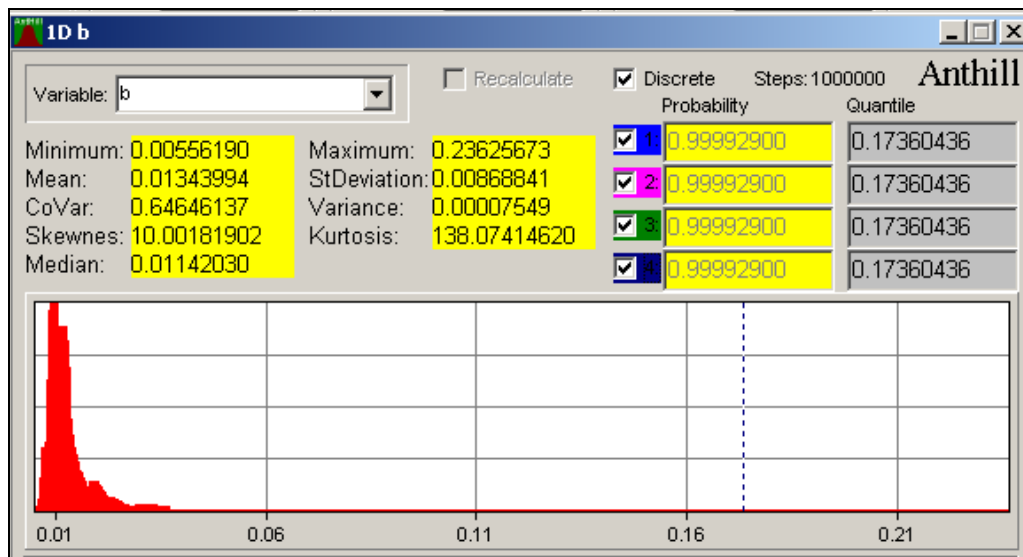
Vypočtená pravděpodobnost poruchy zadaného smrkového trámu:  $P_f = 0,000038$  (Obr.4). Tato pravděpodobnost poruchy trámu pro 60-ti minutovou požární odolnost odpovídá obvyklé důležitosti konstrukce podle [6].



Obr.4: Výsledný histogram funkce spolehlivosti smrkového trámu.

## B) Návrh průřezu

Jako návrhová veličina je zvolena šířka trámu  $b$ , která byla stanovena pro pravděpodobnost poruchy obvyklé důležitosti konstrukce  $P_d = 0,00007$ . U smrkového trámu je minimální možná šířka trámu pro 60-ti minutovou požární odolnost 173,6 mm (Obr. 5).



Obr.5: Výsledný histogram minimální šířky smrkového trámu.

## 6 ZÁVĚR

Tabulka č.1 uvádí srovnání výsledků návrhu a posouzení stropního trámu metodou SBRA a dle EC5.

Tab.1: Srovnání výsledků dle metody SBRA a výpočtu dle EC5.

	Posudek		Návrh	
	EC5 – stupeň využití	SBRA pravděpodobnost poruchy	EC5 (minimální šířka trámu – $b$ [mm])	SBRA (minimální šířka trámu – $b$ [mm])
Smrk	0,84	0,000038	168,6	173,6

Z tabulky je patrné, že výsledky obou metod jsou srovnatelné. K výhodám metody SBRA patří možnost explicitního vyjádření pravděpodobnosti poruchy nosných prvků a spojů, možnost vyjádření zatížení, fyzikálně-mechanických a geometrických vlastností prvků pomocí ohraničených histogramů. Metoda SBRA umožňuje rovněž zahrnout do výpočtu pravděpodobnost vzniku požáru, vliv vlhkosti, hustoty a dalších činitelů ovlivňujících požární odolnost prvků a spojů dřevěných konstrukcí.

### PODĚKOVÁNÍ

Při řešení byly využity teoretické výsledky dosažené za finančního přispění MŠMT, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

### LITERATURA

- [1] ČSN EN 1995-1-1, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha, prosinec 2006.
- [2] ČSN EN 1995-1-2, Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha, prosinec 2006.
- [3] LOKAJ, A., VAVRUŠOVÁ, K., HURTA, J., (2007): Materiálové charakteristiky jehličnatého dřeva, In *SBORNÍK vědeckých prací Vysoké školy báňské –Technické univerzit Ostrava*, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ostrava, Česká republika, ISBN 978-80-248-1661-6.
- [4] VAVRUŠOVÁ, K., LOKAJ, A., Spolehlivost prvků dřevěných konstrukcí, In *Spolehlivost konstrukcí*, Praha 2008, s. 33 – 36, ISBN 978-80-02-02007-3
- [5] MAREK, P., BROZZETTI, J., GUŠTAR, M., TIKALSKY, P., (2003): *Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation*, Second edition, Praha, ISBN 80-86246-19-1.
- [6] ČSN 73 1401/98 Navrhování ocelových konstrukcí. Změna A. ČNI, Praha, 1998.

### Oponentní posudek vypracoval:

Ing. Isabela Bradáčová, CSc., Fakulta bezpečnostního inženýrství, VŠB-TU Ostrava.